

**ZRÓŻNICOWANIE WILGOTNOŚCI WZGLĘDNEJ
I OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH W REJONIE FORLANDSUNDET
(NW SPITSBERGEN) W SEZONIE LETNIM 2010**

DIFFERENTIATION OF RELATIVE HUMIDITY AND PRECIPITATION
IN THE FORLANDSUNDET REGION (NW SPITSBERGEN) IN THE SUMMER 2010

Andrzej Arażny, Rajmund Przybylak, Marek Kejna

Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Instytut Geografii, Zakład Klimatologii
87-100 Toruń, ul. Gagarina 9
andy@umk.pl

Zarys treści. W artykule przedstawiono zróżnicowanie wilgotności względnej powietrza oraz opadów atmosferycznych w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w sezonie letnim (21 VII – 31 VIII) 2010 roku. Do analizy wzięto godzinne dane wilgotności względnej (z 18 stanowisk) oraz sumy opadów atmosferycznych z okresów 1-3 dniowych (z 11 stanowisk). Dla obydwu badanych elementów meteorologicznych stwierdzono znaczne przestrzenne zróżnicowanie ich wartości uwarunkowane rodzajem podłoża, wysokością nad poziom morza, odległością od morza, ekspozycją oraz lokalną cyrkulacją atmosferyczną. Zbadano wpływ cyrkulacji atmosferycznej na wartości wilgotności względnej i opadów atmosferycznych korzystając z kalendarza typów cyrkulacji dla Spitsbergenu.

Słowa kluczowe: topoklimat, wilgotność względna, opady atmosferyczne, cyrkulacja atmosferyczna, Spitsbergen, Forlandsundet

1. Wprowadzenie

Wilgotność powietrza jest bardzo wrażliwym elementem topoklimatu. Podlega ona zmianom przestrzennym w jeszcze silniejszym stopniu niż temperatura powietrza. Są one m. in. efektem oddziaływania wysokości n.p.m., rzeźby, szaty roślinnej i wilgotności podłoża na zawartość pary wodnej w przygruntowej warstwie powietrza. Istotną rolę odgrywa także ogólna oraz lokalna cyrkulacja atmosferyczna. Opady atmosferyczne, podobnie jak wilgotność powietrza, są na Spitsbergenie silnie zróżnicowane przestrzennie (Marciniak i Przybylak 1985, Arażny 2008). Pełnią one m.in. ważną rolę dla rozwoju biosfery, są także istotnym elementem bilansu masy lodowców.

Poznanie zmienności wilgotności powietrza (w niniejszym artykule opisanej za pomocą wilgotności względnej) i opadów atmosferycznych zarówno w czasie jak i w przestrzeni, jest bardzo przydatne w badaniach topoklimatycznych i bioklimatycznych. Zarówno zbyt niska, jak i zbyt wysoka wilgotność powietrza powoduje zakłócenia w procesie oddawania ciepła z organizmu człowieka (Kozłowska-Szczęsna i in. 1997). Opady atmosferyczne są elementem pogody ograniczającym możliwość klimatoterapii, wypoczynku, turystyki oraz pracy na wolnym powietrzu.

W rejonie Forlandsundet zagadnienie zróżnicowania przestrzennego wilgotności powietrza i opadów atmosferycznych jest badane od sezonu letniego 1978 r. (Wójcik i in. 1997). Wyniki były publikowane w licznych opracowaniach i artykułach, m.in.: Wójcik i in. 1983, 1992, 1993; Marciniak i Przybylak 1985, Kejna 2001, 2010; Kejna i Maszewski 2007, Przybylak i in. 2007, 2009. Informacje o wilgotności powietrza znaleźć można w pracach kompleksowych o klimacie Arktyki (m.in. Vowinckel i Orvig 1970, Przybylak 2003). Na Spitsbergenie wilgotność względna jako podstawowy podmiot analizy była rzadko opracowywana (np. Niedźwiedź i Ustrnul 1989, Przybylak 1992a, b; Arażny 2003). Ogólne opracowania na temat opadów atmosferycznych w Arktyce można znaleźć w publikacjach Przybylaka (1996, 1997, 2003). Istnieje również szereg opracowań opisujących ten element meteorologiczny w Arktyce Norweskiej (Hanssen-Bauer i Førland 1998, 2000; Førland i Hanssen-Bauer 2000, 2001, 2002) i na Spitsbergenie (Marciniak i Przybylak 1985, Przybylak i Marciniak 1992, Førland i in. 1997, Hanssen-Bauer 2002, Łupikasa 2002, 2003, 2007, 2008; Łupikasa i Niedźwiedź 2002).

Głównym celem opracowania jest określenie zróżnicowania przestrzennego wilgotności względnej powietrza i opadów atmosferycznych w rejonie Forlandsundet w sezonie letnim oraz poznanie związków analizowanych elementów klimatu z cyrkulacją atmosferyczną.

2. Obszar badań i materiał

Na początku lipca 2010 r. w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) uruchomiono 18 stanowisk pomiarowych wilgotności powietrza, wykorzystując do tego celu automatyczne stacje Davis Vantage Pro2 oraz rejestratory elektroniczne MidgeTech. Ich lokalizację oraz używane skróty przedstawiono w tab. 1 i ryc. 1-2. Pomiary automatyczne prowadzono za pomocą czujników wilgotności powietrza, które były umieszczone w osłonach antyradiacyjnych na wysokości 200 cm nad poziomem podłoża.

Tabela 1 – Table 1

Stanowiska meteorologiczne pracujące latem 2010 w rejonie Forlandsundet
Meteorological sites working during summer 2010 in the Forlandsundet region

Lp.	Stanowiska – Sites	φ	λ	h (m n.p.m.) h (m a.s.l.)
1	KH Kaffiøyra-Heggodden	78°41'34" N	11°51'39" E	11.5
2	SAT Sarstangen	78°43'38" N	11°28'50" E	2.0
3	SAO Sarsøyra	78°42'55" N	11°43'26" E	9.0
4	KT Terasa	78°40'39" N	11°58'03" E	90.0
5	ATA ATA	78°40'31" N	11°59'30" E	137.0
6	KU Kuven	78°40'53" N	12°00'53" E	193.0
7	GF Gråfjellet	78°39'59" N	12°00'33" E	345.0
8	LW1 Lodowiec Waldemara-czoło	78°40'31" N	12°00'01" E	130.0
9	LW2 Lodowiec Waldemara-cyrk	78°40'59" N	12°05'15" E	375.0
10	PH1 Prins Heinrichfjella-1	78°40'51" N	11°59'28" E	500.0
11	PH2 Prins Heinrichfjella-2	78°41'01" N	12°06'25" E	590.0
12	PK1 Prins Karls Forland-zachód	78°28'10" N	11°11'56" E	9.0
13	PK2 Prins Karls Forland-środek	78°30'18" N	11°12'47" E	68.0
14	PK3 Prins Karls Forland-Klubben	78°32'46" N	11°14'42" E	8.0
15	PK4 Prins Karls Forland-wschód	78°33'52" N	11°15'28" E	6.0
16	SJ1 St. Jonsfjord Cooper	78°30'10" N	12°43'03" E	2.0
17	SJ2 St. Jonsfjord Hus	78°31'36" N	12°51'53" E	4.0
18	SJ3 St. Jonsfjord muton	78°34'10" N	13°09'22" E	14.0

Do niniejszego opracowania wykorzystano dane godzinne, gdyż jak wykazały wcześniejsze badania, do obliczania średnich dobowych np. w przypadku temperatury powietrza są one w pełni wystarczające (Przybylak i Vizi 2005).



Ryc. 1. Położenie stanowisk meteorologicznych wykorzystanych w opracowaniu na podkładzie mapy topograficznej Norweskiego Instytutu Polarnego (objaśnienia w tab. 1)

Fig. 1. Location of meteorological sites used in this study shown on a topographic map produced by the Norwegian Polar Institute (for explanations see Table 1)



Ryc. 2. Stanoiska meteorologiczne pracujące latem 2010 w rejonie Forlandsundet (objaśnienia w tab. 1)

Fig. 2. Meteorological sites working during summer 2010 in the Forlandsundet region
(for explanations see Table 1)

Opady atmosferyczne mierzono w 11 punktach tradycyjnymi deszczomierzami Hellmanna na standardowej wysokości 1 m n.p.t. oraz automatycznymi stacjami Davis Ventage Pro2. Na stacji KHM i KHP pomiar był wykonywany dwa razy na dobę o godzinie 7 i 19 CET. Natomiast na stacjach pomiarowych w rejonie Lodowca Waldemara (KT, ATA, LW1, LWŚr, LW2) pomiary wykonywano deszczomierzami Hellmanna co 2-3 dni. Na pozostałych stacjach, w których nie było możliwości ciągłego nadzoru i pomiarów, wykorzystano dane do opracowania ze stacji automatycznych (GF, SJ2, PK2 i PK3). Do analizy wykorzystano standardowe metody stosowane powszechnie w klimatologii. Od wielu lat wspólnym okresem porównawczym do opracowania pomiarów meteorologicznych z obszaru Kaffiøryry stosowanym przez Zakład Klimatologii UMK jest okres od 21 lipca do 31 sierpnia.

Dane dotyczące typów cyrkulacji atmosferycznej na Spitsbergenie otrzymano dzięki uprzejmości Niedźwiedzia (2011). Autor ten oznaczył w swoim katalogu cyrkulacji jako: Na, Nc – sytuacje z adwekcją powietrza z północy, NEa, NEc – sytuacje z adwekcją powietrza z północnego wschodu, Ea, Ec – sytuacje z adwekcją powietrza ze wschodu, SEa, SEc – sytuacje z adwekcją z południowego wschodu, Sa, Sc – sytuacje z adwekcją z południa, SWa, SWc – sytuacje z adwekcją powietrza z południowego zachodu, Wa, Wc – sytuacje z adwekcją powietrza z zachodu, NWa, NWc – sytuacje z adwekcją z północnego zachodu, Ca – sytuacja centralna antycyklonalna, brak adwekcji, centrum wyżu, Ka – klin antycyklonalny, Cc – sytuacja centralna cyklonalna, Bc – bruzda cyklonalna, X – sytuacje nie dające się zaklasyfikować i siodła baryczne. Szesnaście z powyższych typów sytuacji synoptycznych cechuje wyraźny kierunek napływu mas powietrza, a cztery nie wykazują adwekcji lub bardzo zmienne kierunki. Indeksami „a” oznaczone są układy baryczne antycyklonalne (wyżowe), a indeksami „c” układy cyklonalne (niżowe). Więcej informacji o typach cyrkulacji atmosferycznej na Spitsbergenie można znaleźć w publikacjach (np. Niedźwiedź 2001, 2007).

3. Wyniki

3.1. Zróżnicowanie przestrzenne wilgotności względnej

W okresie letnim na wartość wilgotności względnej w rejonie badań, tak jak i na całym Spitsbergenie, ma głównie wpływ niska temperatura powietrza, bliskość Morza Grenlandzkiego oraz intensywna działalność cyklonalna. Przestrzenny rozkład parametrów wilgotności powietrza, w tym wilgotności względnej, koreluje z odpowiednim rozkładem temperatury powietrza (Przybylak i in. 2011). Średnia sezonowa wartość tego parametru w Stacji Bazowej (KH) wyniosła 89.4% (tab. 2). Zdecydowanie wyższe wartości niż w KH (o co najmniej 2% za sezon) zanotowano na stanowiskach leżących blisko morza (SAT i SAO) lub położonych w górach i bardziej oddalonych od morza (KU, GF, PH1, PH2 i PK2). Na stanowiskach wysokogórskich, z racji występowania tam niższych wartości temperatury powietrza oraz częstszego zalegania chmur piętra niskiego (Sc, St), obserwowano podwyższone wartości wilgotności względnej. Najmniejsze nasycenie powietrza parą wodną (86.4%) wystąpiło na stanowisku ATA, położonym u czoła Lodowca Waldemara, o podłożu z suchą i kamienistą moreną. Niska wilgotność na tym stanowisku była również związana z adyabatycznym ogrzewaniem mas powietrza przenoszonych przez wiatry lodowcowe (Kejna i in. 2010). Ujemne różnice wilgotności względnej liczone za cały sezon, między KH, a pozostałymi stanowiskami w rejonie Forlandsundet, występowały jeszcze na 5 stacjach (tab. 2). Wszystkie te stacje są położone bezpośrednio nad powierzchnią lodowcową (LW2) lub w niewielkim oddaleniu od lodowców (LW1, SJ1, SJ2 i SJ3).

Tabela 2 – Table 2

Średnie wartości wilgotności względnej (%) w Stacji Bazowej (KH) oraz jej różnice w stosunku do pozostałych stanowisk pomiarowych w rejonie Forlandsundet w lecie 2010 (SAT-KH, SAO-KH itd.)

Mean values of relative humidity (%) in the Kaffiøyra Base Station (KH) and their differences in comparison to other measurement sites in the Forlansundet region, summer season 2010 (SAT-KH, SAO-KH, etc.)

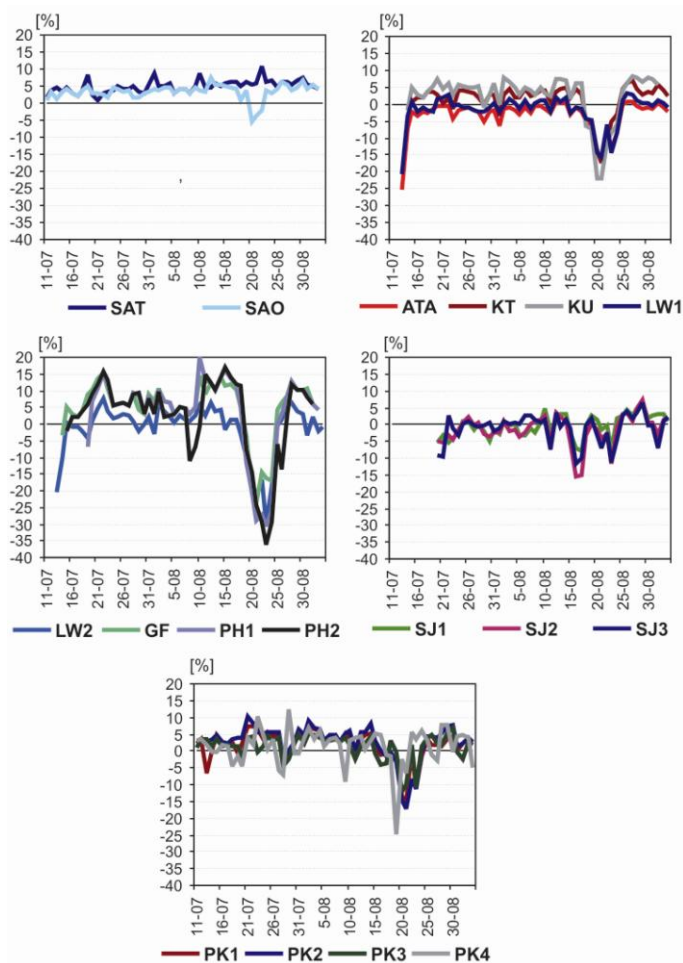
L.p. No	Stanowisko Site	11 VII – 20 VII	21 VII – 31 VII	01 VIII – 10 VIII	11 VIII – 20 VIII	21 VIII – 31 VIII	21 VII – 31 VIII
1	KH	95.2	90.6	92.5	85.3	89.2	89.4
2	SAT	3.8	3.8	5.2	5.5	6.5	5.2
3	SAO	3.0	2.9	3.9	3.4	3.3	3.4
4	KT*	1.8	2.0	2.5	-0.1	-0.4	1.0
5	ATA**	-6.0	-2.1	-2.0	-3.4	-4.5	-3.0
6	KU***	3.0	4.3	4.2	0.3	0.1	2.2
7	GF***	3.8	8.0	6.6	6.0	-0.8	4.9
8	LW1**	-3.9	-0.4	0.0	-2.6	-3.3	-1.6
9	LW2**	-5.1	2.5	2.3	-1.4	-6.5	-0.8
10	PH1	.	8.3	6.8	6.5	-5.4	3.9
11	PH2	.	8.5	1.2	8.4	-8.7	2.2
12	PK1	1.4	3.8	4.9	-0.6	-1.0	1.8
13	PK2	3.4	4.8	5.3	0.4	-0.3	2.5
14	PK3	1.8	1.9	3.4	-1.2	0.7	1.2
15	PK4	0.0	2.1	2.5	-0.8	2.5	1.6
16	SJ1	.	-2.1	-0.8	-0.9	1.7	-0.5
17	SJ2	.	-1.9	-0.6	-4.0	0.1	-1.6
18	SJ3	.	-1.2	0.9	-2.7	-0.7	-0.9

Objaśnienia (Explanations): * – 15 VII – 31 VIII; ** – 13 VII – 31 VIII; *** – 14 VII – 31 VIII

W ciągu całego analizowanego sezonu najwyższe średnie dobowe wartości wilgotności względnej na większości stanowisk osiągają 100%. Natomiast najniższe średnie dobowe wartości wilgotności względnej wahają się od 49.6% (na najwyższym położonym stanowisku PH2 w dniu 22 sierpnia) do 79.7% (na stanowisku nadmorskim SAT w dniu 20 sierpnia). Największa amplituda wilgotności względnej (różnica między najwyższą i najniższą średnią dobową w omawianym okresie) została zanotowana na szczytach górskich Prins Heinrichfjella PH2 i PH1 (odpowiednio 50.4 i 48.3%). Przyczyną tego jest prawdopodobnie silne ogrzewanie się grzbietów górskich leżących stosunkowo często powyżej zasięgu niskich chmur, które z kolei nie pozwalają na ogrzewanie się niżej położonych obszarów (Przybylak i in. 2011). Natomiast najmniejsza różnica między dniami z najwyższą i najniższą średnią dobową, zgodnie z oczekiwaniem, była w stacjach zlokalizowanych o największych wpływach morza: SAT i KH (odpowiednio 20.3 i 22.7%). Szczególnie pod tym względem wyróżnia się stanowisko SAT, położone na końcu wąskiego półwyspu Sarstangen wcinającego się w Cieśninę Forland (ryc. 2). Zróżnicowanie wartości wilgotności względnej absolutnej jest większe niż w przypadku średnich dobowych. Przekracza ono na wszystkich stanowiskach 38%, a w 10 punktach pomiarowych (głównie wysokogórskich) nawet 55%. Odchylenie standardowe obliczone ze średnich dobowych w ciągu lata największe wartości (ok. 14%) osiąga na stacjach wysokogórskich (PH1 i PH2), natomiast najbardziej stabilne środowisko pod względem wilgotnościowym (do ok. 5%) występuje w punktach położonych w pobliżu morza (SAT i KH).

W poszczególnych dniach charakter zróżnicowania przestrzennego wilgotności powietrza może się znacznie różnić (ryc. 3). W przebiegu z dnia na dzień wilgotność względna, nawet przy tej samej

temperaturze, wykazuje w rejonie Forlandsundet różne wartości w zależności od kierunku adwekcji mas powietrza. Więcej na temat wpływu cyrkulacji atmosferycznej na wilgotność względną przedstawiono w tym artykule w podrozdziale 3.5. Autorzy opracowania, chcą zwrócić uwagę na dużą anomalię warunków wilgotnościowych w trzeciej dekadzie sierpnia 2010 r. (tab. 2, ryc. 3). W tym czasie wystąpiło duże niezwykle ocieplenie (z wyjątkiem St. Jonsfjorden), szczególnie intensywne w obszarach górskich (Przybylak i in. 2011). Wzrost temperatury powietrza przy słonecznej pogodzie między drugą a trzecią dekadą sierpnia, spowodował gwałtowny spadek wartości wilgotności względnej powietrza na stanowiskach najwyżej położonych, tj. GF, LW2, PH1 PH2 (tab. 2, ryc. 3). Przykład ten świadczy o tym, iż przestrzenne zróżnicowanie wilgotności względnej zmienia się w zależności od typu pogody. Przy pogodzie pochmurnej i chłodnej zróżnicowanie to maleje, natomiast przy pogodzie radiacyjnej zwiększa się.



Ryc. 3. Różnice średnich dobowych wartości wilgotności względnej (%) między Stacją Bazową Kaffiøyra (KH) a pozostałymi stanowiskami pomiarowymi w rejonie Forlandsundet w lecie 2010 r.

Fig. 3. Differences of mean daily values of relative humidity (%) between the Kaffiøyra Base station (KH) and other measurement sites in the Forlandsundet region, summer season 2010

W tabeli 3 przedstawiono korelacje między seriami średnich dobowych wartości wilgotności względnej z wszystkich 18 stanowisk dla wspólnego okresu. Są one z reguły bardzo silne. Najslabsze i nieistotne statystycznie korelacje ($r \leq 0.3$) stwierdzono jedynie między seriami wilgotności względnej SAT-PH2 oraz SJ1-PH2. Wszelkie inne kombinacje serii danych z wszystkich stanowisk mają korelacje wyraźnie silniejsze i statystycznie istotne na poziomie $p < 0.05$. Tak ściśle zależności pozwalają na konstrukcję równań regresji, które będzie można w przyszłości wykorzystywać do uzupełniania brakujących wartości na którymkolwiek ze stanowisk.

Tabela 3 – Table 3

Macierz współczynników korelacji średnich wartości dobowych wilgotności względnej między stanowiskami w regionie Forlandsundet w sezonie letnim 2010 r.

Matrix of correlation coefficients for mean daily values of relative humidity between the sites in the Forlandsundet region in the summer season 2010

Stanowisko Site	SAT	SAO	KT	ATA	KU	GF	LW1	LW2	PH1	PH2	PK1	PK2	PK3	PK4	SJ1	SJ2	SJ3
KH	0.94	0.95	0.89	0.89	0.82	0.59	0.86	0.69	0.48	0.38	0.85	0.82	0.89	0.64	0.83	0.81	0.85
SAT		0.92	0.83	0.82	0.76	0.50	0.79	0.58	0.37	0.24	0.78	0.74	0.85	0.58	0.84	0.79	0.82
SAO			0.96	0.94	0.91	0.73	0.92	0.78	0.62	0.50	0.89	0.90	0.91	0.64	0.83	0.79	0.84
KT				0.99	0.98	0.85	0.97	0.89	0.77	0.63	0.91	0.94	0.90	0.66	0.80	0.77	0.82
ATA					0.97	0.86	0.99	0.92	0.78	0.65	0.94	0.95	0.93	0.65	0.80	0.79	0.85
KU						0.92	0.97	0.93	0.84	0.73	0.92	0.95	0.88	0.67	0.73	0.71	0.77
GF							0.88	0.95	0.97	0.88	0.82	0.88	0.74	0.53	0.53	0.54	0.63
LW1								0.93	0.80	0.66	0.96	0.96	0.94	0.64	0.79	0.79	0.85
LW2									0.93	0.84	0.89	0.93	0.83	0.56	0.65	0.67	0.75
PH1										0.93	0.73	0.80	0.63	0.48	0.44	0.45	0.55
PH2											0.62	0.69	0.52	0.40	0.30	0.32	0.43
PK1												0.98	0.97	0.67	0.75	0.77	0.84
PK2													0.95	0.68	0.76	0.77	0.82
PK3														0.63	0.85	0.85	0.89
PK4															0.49	0.50	0.55
SJ1																0.97	0.91
SJ2																	0.95

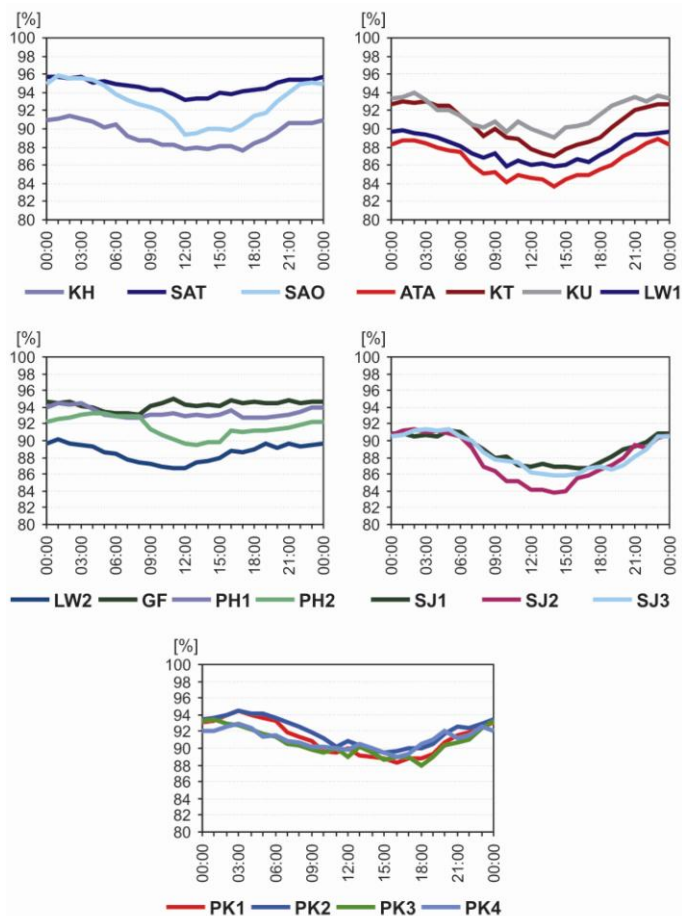
Objaśnienia (Explanations): nazwy stanowisk w tabeli 1 (for site abbreviations see Table 1);
współczynniki korelacji istotne statystycznie na poziomie $p < 0.05$ są pogrubione
(correlation coefficients statistically significant at the level of 0.05 are shown in bold)

3.2. Przebieg dobowy wilgotności względnej

Powszechnie wiadomo, że średni przebieg dobowy wilgotności względnej jest odwrotny w stosunku do średniego przebiegu dobowego temperatury powietrza. Warunki termiczne w rejonie Forlandsundet w sezonie letnim 2010 r., w tym m.in. przebieg dobowy temperatury, zostały przedstawione przez Przybyłaka i in. (2011). Zwracają oni m.in. uwagę, iż na tym obszarze zróżnicowanie temperatury powietrza między stanowiskami jest większe w godzinach dziennych niż „nocnych”. Jest ono też znacznie większe i ma bardziej złożony charakter (większy wpływ warunków lokalnych) w dniach pogodnych niż pochmurnych.

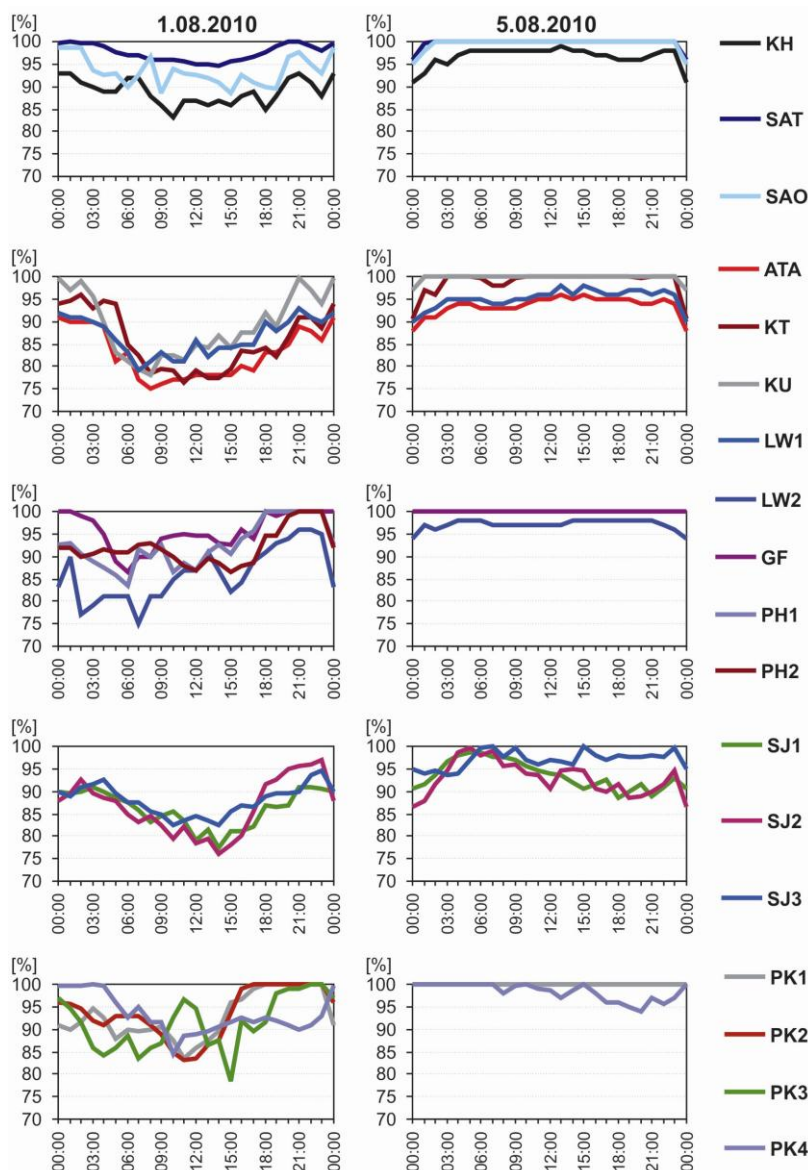
Uśrednione przebiegi dobowe wilgotności względnej na poszczególnych stanowiskach wykazują jedno dobowe minimum i jedno dobowe maksimum (ryc. 4). Najmniejsza średnia godzinna wartość wilgotności względnej przypada najczęściej na godz. 13-17 CET, w których odnotowano też najwyższą

temperaturę powietrza. Maksimum wilgotności względnej w godzinach „nocnych” i porannych związane jest z minimum temperatury powietrza. Średnie amplitudy dobowe są małe (na wszystkich stanowiskach <8%), a najmniejsze na szczytach GF i PH1 (do ok. 2%). Na wszystkich analizowanych punktach we wszystkich terminach obserwacyjnych średnia wilgotność względna wynosi powyżej 83% (ryc. 4). Uśrednione wykresy przebiegu dobowego są asymetryczne. Większa wilgotność względna występuje na wszystkich stanowiskach w pierwszej połowie doby (za wyjątkiem GF i LW2), co związane jest z niższą temperaturą powietrza w tej części doby.



Ryc. 4. Średni przebieg dobowy wilgotności względnej (%) w rejonie Forlandsundet (21 VII – 31 VIII 2010)
Fig. 4. Mean daily course of relative humidity (%) in the Forlandsundet region (21st July – 31st August 2010)

W poszczególnych dniach przebiegi dobowe wilgotności względnej często znacznie się różnią od przebiegu średniego, co przeważnie było spowodowane występowaniem różnego rodzaju sytuacji synoptycznych. Do szczegółowej analizy wybrano pomiary z dwóch dni: 1 i 5 sierpnia 2010 r. Pierwszy dzień – bardzo słoneczny z 18.7 godz. uśłonecznienia rzeczywistego (77.9% uśłonecznienia względnego) przy sytuacji synoptycznej NEc, drugi – z całkowitym zachmurzeniem przy sytuacji Ka (ryc. 5).



Ryc. 5. Przebiegi dobowe wilgotności względnej (%) w wybranych dniach (1 VIII 2010 r. – z małym zachmurzeniem oraz 5 VIII 2010 r. – z całkowitym zachmurzeniem) w rejonie Forlandsundet

Fig. 5. Daily courses of relative humidity (%) during selected days: 1st August 2010 (sunny day) and 5th August 2010 (cloudy day) in the Forlandsundet region

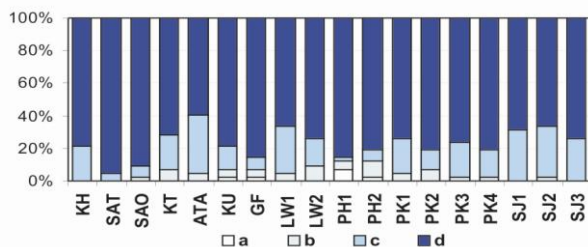
W dniu słonecznym temperatura powietrza szybko wzrastała od godzin porannych do południowych. Po popołudniu na stanowiskach ATA, KT, SJ1 i PK3 wystąpiły największe (9.4-9.9°C) jej wartości maksymalne na całym obszarze badań w tym dniu. Tak duże wartości temperatury spowodowały, iż wilgotność względna zmieniała się na poszczególnych stanowiskach bardzo znacznie (ryc. 5). W dniu 1 sierpnia, zanotowano dużą amplitudę wilgotności względnej, dochodzącą nawet do 25%.

W dniu z całkowitym zachmurzeniem (5 sierpnia 2010 r.), wartości wilgotności względnej zmieniały się w niewielkim zakresie w ciągu doby. Dobowe amplitudy temperatury powietrza na wszystkich stanowiskach notowano do ok. 2°C. W tym dniu przy braku dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego na ww. stanowiskach notowano zbliżone chwilowe wartości wilgotności względnej oraz niewielką kilkuprocentową jej amplitudę w całym rejonie badań. Wyjątek stanowi obszar St. Jonsfjordu, gdzie prawdopodobnie było mniejsze zachmurzenie. W dniu 5 sierpnia zanotowano tam amplitudy wilgotności względnej dochodzące do około 15% (ryc. 5). Przeprowadzona analiza potwierdziła wcześniejsze spostrzeżenia (np. Przybylak 1992), iż wyrazistość przebiegów dobowych wilgotności względnej, rośnie wraz ze zmniejszaniem się zachmurzenia.

3.3. Częstość występowania wilgotności względnej w przedziałach

Na podstawie średnich dobowych wartości wilgotności względnej, wykonano analizę częstości dni o różnych charakterystycznych wartościach. Kozłowska-Szczęśna i in. (1985) przyjmują, że wilgotność względna poniżej 56% to powietrze suche, od 56 do 70% umiarkowanie suche, od 71 do 85% wilgotne, a powyżej 85% to bardzo wilgotne. Utrzymujące się długo stany dużej wilgotności względnej, pogarszają warunki bioklimatyczne zwłaszcza przy niskich temperaturach powietrza i dużych prędkościach wiatru (Araźny 2008).

W sezonie letnim 2010 r. w rejonie Forlandsundet, według tej klasyfikacji, przeważało powietrze bardzo wilgotne (ryc. 6). Ten rodzaj powietrza na analizowanym obszarze występował średnio w ciągu 77% dni. Najrzadziej występował on w ATA (60% dni w sezonie), na suchym terenie morenowym przedpola Lodowca Waldemara, które silnie nagrzewało się, szczególnie w okresach pogody słonecznej. Powietrze bardzo wilgotne wyraźnie dominowało (95% dni w sezonie) na stanowisku SAT, zlokalizowanym blisko morza. Duża częstość występowania powietrza bardzo wilgotnego, na tym obszarze w okresie letnim, jest spowodowana zwiększonym parowaniem z odkrytych powierzchni wodnych.



Ryc. 6 Częstość względna (%) występowania powietrza suchego (a), umiarkowanie suchego (b), wilgotnego (c) i bardzo wilgotnego (d) w rejonie Forlandsundet (21 VII – 31 VIII 2010)

Fig. 6. Relative frequency (%) of the occurrence of dry (a), moderately dry (b), wet (c) and very wet (d) air in the Forlandsundet region (21st July – 31st August 2010)

Latem w 2010 r. powietrze wilgotne średnio notowano w ciągu 18% dni na całym obszarze. Najrzadziej było ono obserwowane na szczycie górskim PH1 (tylko 1 dzień), a najczęściej w ATA (15 dni). Dni z powietrzem umiarkowanie suchym nie stwierdzono na 3 stanowiskach: KH, SJ1 i SJ3. Najczęściej dni z tym powietrzem notowano w LW2 i PH2 (10% dni w sezonie), przy średniej na całym

obszarze 4% dni. Powietrze suche w rejonie Forlandsundet występowało bardzo rzadko w pojedynczych dniach. Notowano je tylko na wyższych wysokościach n.p.m. z dala od wpływu morza, tylko na 4 analizowanych stanowiskach: PH1, PH2, GF i KU (ryc. 6).

3.4. Zróżnicowanie przestrzenne opadów atmosferycznych

Opady atmosferyczne w Arktyce są przeważnie niskie, ponieważ masy powietrza mają zwykle stałą stratyfikację i zawierają niewielkie ilości pary wodnej. Na Spitsbergenie występują natomiast wyraźnie większe opady atmosferyczne. Wynikają one z dużego wpływu cyrkulacji atmosferycznej na badany obszar, związanej z przemieszczaniem się niżów bruzdą islandzko-karską, które powodują uprzywilejowanie tego obszaru pod względem termiczno-wilgotnościowym (Araźny 2008).

W 2010 r. na stanowisku KH zanotowano najmniejsze opady z wszystkich dotychczas badanych 18 sezonów letnich. W okresie 21 VII – 31 VIII suma opadów wyniosła tutaj tylko 8.5mm (tab. 4). Mimo tak małych opadów udało się zaobserwować pewne ogólne prawidłowości w rozkładzie pionowym i przestrzennym opadów.

Tabela 4 – Table 4

Sumy opadów atmosferycznych (mm) w rejonie Forlandsundet w lecie 2010 r.

Total values of atmospheric precipitation (mm) in the Forlandsundet region, summer season 2010

Okres Period	KHp	KHm	KT	ATA	LW1	LW śr	GF	LW2	SJ2	PK2	PK3
16-20 VII	4.9	5.3	14.5	6.0	7.1	7.8	11.0	9.6	.	9.0	4.2
21-25 VII	2.8	3.1	2.5	2.5	4.0	4.6	4.2	7.8	1.6	3.2	1.8
26-31 VII	1.2	1.6	12.1	6.4	9.7	8.5	6.8	11.2	3.4	8.2	4.8
1-5 VIII	0.6	0.8	1.1	0.2	0.6	0.7	1.0	0.6	0.0	5.2	1.0
6-10 VIII	1.2	1.7	4.6	0.3	2.6	1.1	11.2	2.0	1.0	13.0	4.0
11-15 VIII	1.5	1.2	2.9	5.6	5.4	5.4	1.6	8.2	6.2	6.2	5.8
16-20 VIII	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21-25 VIII	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
26-31 VIII	0.2	0.1	2.1	3.9	3.5	4.1	0.2	5.7	0.4	1.0	0.8
21 VII – 31 VIII	7.5	8.5	25.3	19.0	25.9	24.6	25.0	36.5	12.6	36.8	18.2

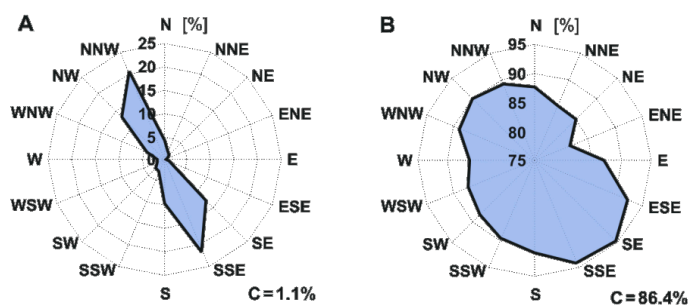
Objaśnienia (Explanations): KHp – Kaffiøyra – Heggodden plaża (beach), KHm – Kaffiøyra – Heggodden morena (moraine), LWśr – Lodowiec Waldemara środek (Waldemar Glacier middle),
inne objaśnienia w tabeli 1 (for other explanations see Table 1)

Opady atmosferyczne rosną wraz ze wzrostem wysokości, z powodu unoszenia się i w konsekwencji ochładzania mas powietrza nad wzgórzami i górami. Podobnie jak w innych sezonach badawczych (m.in. Marciniak i Przybylak 1985, Kejna i Maszewski 2007, Przybylak i in. 2007, 2009) również w 2010 r. zaobserwowano istotny wzrost opadów atmosferycznych wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. Potwierdzają to wartości opadów (tab. 4) w profilu od Stacji Bazowej do cyrku Lodowca Waldemara (KH-ATA-LW1-LWśr-LW2). Na polu firmowym Lodowca Waldemara opady atmosferyczne były około trzy-czterokrotnie większe niż na stanowiskach położonych na nizinach nadmorskich. W sezonie letnim 2010 r. w rejonie Kaffiøyry i Lodowca Waldemara pionowy gradient między KH a LW1 był dwa razy większy niż KH a LW2 (odpowiednio 14.7 i 7.7mm/100 m). Największe opady (36.8mm) za cały sezon wystąpiły w środkowej części Wyspy Prins Karls Forland (PK2). Na stanowisku tym występują znaczne ilości opadów, ponieważ leży ono na najwyższym punkcie przemieszczania się wilgotnych

mas wzdłuż badanego profilu (N-S) Wyspy Prins Karls Forland (ryc. 1). Analizując krótsze okresy, np. poszczególne pentady lub dekady, można zaobserwować odwrotne relacje niż w przypadku całego sezonu. Na przykład największe pentadowe sumy opadów (14.5 i 12.1mm) zmierzono w połowie i w końcu lipca (tab. 4) na terasie przed Lodowcem Waldemara (KT). Podwyższone wartości tego elementu w tym rejonie na kontakcie Kaffiøry i przedpola Lodowca Waldemara, spowodowane są wspomnianym już faktem, częstszego zalegania chmur piętra niskiego.

3.5. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na wilgotność względną i opady atmosferyczne

Na wartości wilgotności względnej i opadów atmosferycznych w bardzo istotny sposób wpływa kierunek adwekcji mas powietrza oraz rodzaj układu barycznego (tab. 5, ryc. 7). Kierunki wiatru obserwowane w rejonie Forlandsundet wynikające z cyrkulacji atmosferycznej, wykazują ścisły związek z lokalnymi warunkami orograficznymi. Częstość rodzajów układów barycznych nad Spitsbergenem wykazuje duże zróżnicowanie międzysezonowe. Średnio w dotychczasowych wyprawach (w okresie 21 VII – 31 VIII) notowano nieznaczną przewagę częstości występowania cyklonów (53.4%) w porównaniu z antycyklonami (45.0%) (tab. 5). Warunki pogodowe na Spitsbergenie, w omawianym sezonie letnim, były w niewielkim stopniu zdominowane przez sytuacje antycyklonalne (47.6%) z centrum nad Morzem Barentsa. Układy cyklonalne występowały z częstością 42.9%, a ich centra były położone najczęściej na północny-wschód od Spitsbergenu. Cechą charakterystyczną lata 2010 r., w stosunku do wielolecia 1975-2009, była zwiększona częstość adwekcji powietrza z północy i wschodu (tab. 5).



Ryc. 7. Częstość kierunków wiatru (%) i cisz (C) – A i średnie wartości wilgotności względnej (%) wg kierunków w Stacji Bazowej (KH) – B w okresie 7 VII – 3 IX 2010 r.

Fig. 7. Frequency of occurrence of wind directions (%) and calms (C) – A, mean of relative humidity (%) for each direction in the Kaffiøra Base station (KH) – B in the period from 7th July to 3rd September 2010

Charakterystykę cyrkulacji atmosferycznej i jej wpływ na wilgotność względną i opady opracowano korzystając z kalendarza typów cyrkulacji ze Spitsbergenu (Niedźwiedź 2011). Wartości wilgotności względnej powietrza w omawianym rejonie zależą w największym stopniu od kierunku napływu mas powietrza, a w mniejszym od rodzaju układów barycznych. W sezonach letnich 1975-2009 w KH średnio najwyższa wartość wilgotności względnej występowała podczas napływu powietrza z sektora południowo-zachodniego (SWa – 94% i SWc – 93%), a najniższa z kierunków północno-wschodnich (NEc – 83%). Latem 2010 r. najwyższą średnią dobową wartość wilgotności względnej zanotowano w dniu 30 lipca podczas typu Wa (98.3%), a najniższą 20 sierpnia przy NEa (71.5%).

Tabela 5 – Table 5

Częstość względna (%) występowania typów cyrkulacji atmosferycznej nad Spitsbergenem
w okresie 21 VII – 31 VIII w latach 1975-2009 i 2010

Relative frequency (%) of the occurrence of circulation types in Spitsbergen
for the period 21st July to 31st August in the period 1975-2009 and 2010

Cyrkulacja Circulation		Częstość (%) Frequency (%)		Cyrkulacja Circulation		Częstość (%) Frequency (%)	
Nr/No	Typ/Type	1975-2009*	2010	Nr/No	Typ/Type	1975-2009*	2010
1	Na	3.1	11.9	11	Nc	5.9	11.9
2	NEa	2.3	9.5	12	NEc	3.9	4.8
3	Ea	5.3	.	13	Ec	6.3	.
4	SEa	6.5	.	14	SEc	6.5	.
5	Sa	2.3	.	15	Sc	5.9	.
6	SWa	3.0	.	16	SWc	5.1	4.8
7	Wa	2.4	7.1	17	Wc	5.8	11.9
8	NWa	1.4	2.4	18	NWc	3.2	4.8
9	Ca	2.5	.	19	Cc	2.8	2.4
10	Ka	16.3	16.7	20	Bc	8.0	2.4
A		45.0	47.6	21	x	1.6	9.5
				C		53.4	42.9

Objaśnienia (Explanations): * – sezony letnie (summer seasons) 1975, 1977-1980, 1982, 1985, 1989, 1997-2000, 2005-2009;

A – sytuacje antycyklonalne (anticyclonic situations); C – sytuacje cyklonalne (cyclonic situations)

Analizując związki wartości wilgotności względnej z kierunkiem wiatru np. w KH, widzimy (ryc. 7) iż, najwyższe wartości (>90%) osiągała ona przy kierunku wiatru ze składową południową: SE (94.8%), SSE (94.1%), ESE (92.3%) i S (90.9%), a najniższe przy wietrze z północnego-wschodu: ENE (81.7%) i NE (85.0%).

Większość opadów na obszarze Spitsbergenu występuje przy adwekcji powietrza z sektora południowego oraz zachodniego (Niedźwiedź i Ustrnul 1988, Przybylak i Marciniak 1992, Wójcik i in. 1992, Niedźwiedź 2002, Łupikasa i Niedźwiedź 2002). Sytuacja taka wynika, jak podaje Niedźwiedź (2002), ze znacznego transportu dużych ilości wilgoci przez cieplejsze powietrze napływające z nad rozległych obszarów wodnych Oceanu Atlantyckiego. Według Przybylaka i in. (2009), największe sumy dobowe opadów atmosferycznych w okresie letnim w KH, w wieloleciu 1980-2008 notowano podczas napływu powietrza z sektora południowego i południowo-zachodniego (Sa – 6.4mm, Sc – 4.7mm, SWc – 3.8mm). Relacje te potwierdzają również wyniki z ostatniego okresu letniego z rejonu Forlandsundet. Największą sumę opadów zanotowano w dniu 25 lipca podczas napływu powietrza z kierunku południowo-zachodniego przy typie SWc (2.6mm). Sumy opadów były ponad trzy razy większe dla makrotypu cyklonalnego, w porównaniu z antycyklonalnym. Napływ mas powietrza z kierunków północnych i wschodnich na Spitsbergenie przynosi najmniejsze opady (Przybylak i Marciniak 1992). Latem 2010 r. generalnie przy tych kierunkach nie notowano opadów (tab. 5).

4. Wnioski

1. Stwierdzono znaczne zróżnicowanie wilgotności względnej powietrza oraz opadów atmosferycznych w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w sezonie letnim. Różnice uwarunkowane są rodzajem

podłoża, wysokością nad poziom morza, odległością od morza, ekspozycją oraz lokalną cyrkulacją atmosferyczną.

2. Największe wartości wilgotności względnej zanotowano na stanowiskach położonych blisko morza lub zlokalizowanych w górach, natomiast najmniejsze na stanowisku, położonym u czoła Lodowca Waldemara, o podłożu z suchą i kamienistą moreną.
3. W przebiegu dobowym stwierdzono większą wilgotność względną powietrza w jej pierwszej połowie, co związane jest z niższą temperaturą powietrza w tej części doby. Wyrazistość przebiegów dobowych wilgotności względnej, rośnie wraz ze zmniejszeniem zachmurzenia.
4. W rejonie Forlandsundet, przeważało powietrze określane jako bardzo wilgotne i wilgotne. Dni z powietrzem umiarkowanie suchym i suchym występowały sporadycznie.
5. Cecha charakterystyczną warunków pogodowych na Spitsbergenie, w omawianym sezonie letnim, była zwiększona częstość adwekcji suchego powietrza z północy i wschodu, w stosunku do wielolecia. Prawdopodobnie była to główna przyczyna wystąpienia najniższych sum opadów atmosferycznych w historii Toruńskich Wypraw Polarnych.
6. Analiza wpływu cyrkulacji atmosferycznej na wilgotność względną i opady atmosferyczne wykazała, że największe wartości wilgotności względnej występowały podczas typu SWc, a najniższe przy NEa. Natomiast największe sumy opadów atmosferycznych zmierzono podczas napływu powietrza w ramach sytuacji SWc.

Podziękowanie

Opracowanie wykonano w ramach polsko-norweskiego projektu badawczego PNRF-22-AI-1/07 pt. *Klimat Arktyki i środowisko mórz Nordyckich oraz rejonu Spitsbergen-Grenlandia (AWAKE)*.

Literatura

- Arażny A., 2003. Przebieg roczny wilgotności względnej w Arktyce Norweskiej w okresie 1971-2000. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 13: 107–115.
- Arażny A., 2008. Bioklimat Arktyki Norweskiej i jego zmienność w okresie 1971-2000. Wydawnictwo UMK, Toruń: 215 s.
- Førland E.J., Hanssen-Bauer I., Nordli P.Ø., 1997. Climate statistic and long-term series of temperature and precipitation at Svalbard and Jan Mayen. DNMI Report No. 21/97 Klima, Oslo.
- Førland E. J., Hanssen-Bauer I., 2000. Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false?. *Climatic Change*, 46: 485–509.
- Førland E.J., Hanssen-Bauer I., 2001. Changes in temperature and precipitation in the Norwegian Arctic during the 20th Century. [w:] M.B. India, D.L. Bonillo (eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, Springer: 153–161.
- Førland E. J., Hanssen-Bauer I., 2002. Twentieth-century variations in temperature and precipitation in the Nordic Arctic. *Polar Record*, 38 (206): 203–210.
- Hanssen-Bauer I., 2002. Temperature and precipitation in Svalbard 1912-2050: measurements and scenarios. *Polar Record*, 38 (206): 225–232.
- Hanssen-Bauer I., Førland E.J., 1998. Long-term trends in precipitation and temperature in the Norwegian Arctic: can they be explained by changes in atmospheric circulation patterns? *Climate Research*, 10: 143–153.

- Hanssen-Bauer I., Førland E. J., 2000. Temperature and precipitation variations in Norway 1900-1994 and their links to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 20 (14): 1693–1708.
- Kejna M., 2001. Warunki meteorologiczne na Lodowcu Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 1999 roku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11: 55–65.
- Kejna M., Maszewski R., 2007. Warunki meteorologiczne w rejonie Lodowca Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2006 r. [w:] R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny, P. Głowacki (red.). *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 165–178.
- Kejna M., Przybylak R., Arażny A., Jankowska J., Maszewski R., Wyszynski P., 2010. Warunki topoklimatyczne w sezonach letnich w rejonie Kaffiøry (NW Spitsbergen) w latach 2005-2009. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 20, 63–81.
- Kozłowska-Szczęśna T., Błażejczyk K., Krawczyk B., 1997. *Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski*. IGiPZ PAN, Monografie 1, Warszawa: 200 s.
- Łupikaska E., 2002. Zmienność opadów atmosferycznych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-2000. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 12: 77–88.
- Łupikaska E., 2003. Zmienność występowania opadów deszczu i śniegu w Hornsundzie w okresie lipiec 1978 – grudzień 2002. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 13: 93–105.
- Łupikaska E., 2007. Opady atmosferyczne. [w:] Marsz A.A. i Styszyńska A. (red.), *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, i ich przyczyny*. Wyd. Akademii Morskiej, Gdynia: 185–196.
- Łupikaska E., 2008. Zależność występowania rodzajów opadów od temperatury powietrza w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-2007. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 18: 99–112.
- Łupikaska E., Niedźwiedz T., 2002. Wpływ cyrkulacji na opady atmosferyczne w Hornsundzie. [w:] Kostrzewski A., Rachlewicz G. (red.), *Polish Polar Studies, Funkcjonowanie i monitoring Geoeosystemów obszarów polarnych*, Poznań 2002: 203–216.
- Marciniak K., Przybylak R., 1985. Atmospheric precipitation of the summer season in the Kaffiøra region (North-West Spitsbergen). *Polish Polar Research*, 6 (4): 543–559.
- Niedźwiedz T., 2001. Zmienność cyrkulacji atmosfery nad Spitsbergenem w drugiej połowie XX wieku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 11: 7–26.
- Niedźwiedz T., 2002. Wpływ cyrkulacji atmosfery na wysokie opady w Hornsundzie (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej*, 12: 65–75.
- Niedźwiedz T., 2007. Atmospheric circulation conditions in 2005-2006 above Spitsbergen. [w:] Przybylak R., Kejna M., Arażny A., Głowacki P. (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 17–32.
- Niedźwiedz T., 2011. Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej na Spitsbergenie. Komputerowa baza danych, Katedra Klimatologii, Uniwersytet Śląski.
- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1988. Wpływ sytuacji synoptycznych na stosunki opadowe w Hornsundzie (Spitsbergen). *XV Sympozjum Polarne*, Wrocław: 196–202.
- Niedźwiedz T., Ustrnul Z., 1989. Wpływ sytuacji synoptycznych na wilgotność powietrza w Hornsundzie (Spitsbergen), *Maszynopis w IMGW, Oddział w Krakowie*.
- Przybylak R., 1992a. Spatial differentiation of air temperature and relative humidity on western coast of Spitsbergen in 1979 - 1983, *Polish Polar Research*, 13 (2): 113–130.
- Przybylak R., 1992b. Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-1983, *Dokumentacja Geograficzna 2*, Wyd. PAN: 105 s.
- Przybylak R., 1996. Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce, Toruń: 279 s.

- Przybylak R., 1997. Związki przestrzenne opadów atmosferycznych w Arktyce w okresie 1951-1990. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 7: 41–54.
- Przybylak R., 2003. *The Climate of the Arctic. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library*, 26, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 288 s.
- Przybylak R., Arażny A., Ćwiklińska K., 2007. Warunki meteorologiczne w rejonie Lodowca Waldemara (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2005 r. [w:] Przybylak R., Kejna M., Arażny A., Głowacki P. (red.), *Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*, Toruń: 51–65.
- Przybylak R., Arażny A., Kejna M., Maszewski R., Wyszyński P., 2009. Zróżnicowanie opadów atmosferycznych w rejonie Kaffiöyry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim w latach 1980-2008. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 19: 189–202.
- Przybylak R., Arażny A., Kejna M., Pospieszńska A., 2011. Zróżnicowanie warunków termicznych w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w sezonie letnim 2010. *Prace i Studia Geograficzne*, 47: 451–462.
- Przybylak R., Marciniak K., 1992. Opady a cyrkulacja atmosferyczna na zachodnim wybrzeżu Spitsbergenu w okresie 1979-1985. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2: 84–95.
- Przybylak R., Vizi Z., 2005. Ocena dokładności stosowanych metod obliczania średnich i ekstremalnych dobowych wartości temperatury powietrza w Arktyce Amerykańskiej w XIX wieku. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 15: 27–39.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., 1983. Wilgotność powietrza w sezonie letnim na nizinie Kaffiöyry i Lodowcu Waldemara (NW Spitsbergen). [w:] Olszewski A., Wójcik G. (red.), *X Sympozjum Polarne Polskie Badania Polarne 1970-1982*, Toruń: 187–199.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1992. Temperatura i opady a cyrkulacja atmosferyczna w rejonie Kaffiöyry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim w okresie 1975-1989. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2: 96–102.
- Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1993. Mezo- i topoklimaty północnej części regionu Kaffiöyry (Ziemia Oskara II, NW Spitsbergen). *Wyniki Badań VIII Toruńskiej Wyprawy Polarnej Spitsbergen 89*, UMK, Toruń: 83–111.
- Wójcik G., Kejna M., Marciniak K., Przybylak R., Vizi Z., 1997. Obserwacje meteorologiczne na Ziemi Oscara II (Spitsbergen) i w Oazie Bungera (Antarktyda). *Oficyna Wydawnicza „Turpress”*, Toruń: 1–412.
- Vowinkel E., Orvig S., 1970. The climate of the North Polar Basin, [w:] Landsberg H.E. (red.), *Climates of the polar regions. World Survey of Climatology*, 14, Elsevier Publishing Company Inc.: 129–252.

Wpłynęło: 16 sierpnia 2011; poprawiono: 21 października 2011.

Summary

In the paper some main results concerning spatial differentiation of relative humidity and precipitation in the Forlandsundet region (NW Spitsbergen) in summer season (21 VII – 31 VIII) of 2010 are presented (Table 1, Figs 1-2). For analysis hourly data from 18 and 11 sites, respectively for relative humidity and precipitation have been used. Relative humidity was measured using automatic weather stations Davis Vantage Pro2 and MadgeTech sensors. On the other hand, for measurements of precipitation Hellmanns' ombrometers and automatic weather stations Davis Vantage Pro2 have been utilised.

Large spatial differences of relative humidity and precipitation noted in the study area were influenced by different factors, e.g. character of ground, altitude above sea level, distance from the sea coast, exposition to the sun and incoming air masses, and local atmospheric circulation. Highest

mean values of relative humidity (94.6%) occurred at the site surrounded by the sea (Sarstangen Peninsula, SAT), while the lowest one (86.4%) at the site located 200 m from the Waldemar Glacier termini (ATA) (Table 3, Fig. 3). The first half of the day saw highest values of relative humidity than the second one (Fig. 4). The reason of this may be explained by the opposite daily course of air temperature. Daily courses are getting more and more clear in line with decreasing value of cloudiness (Fig. 5). In the Forlandsundet region most frequent were air masses which can be described as humid and very humid. Days with moderate dry and dry air were noted very rarely (Fig. 6).

Relative humidity shows usually very high and statistically significant correlation between data from the analysed sites (Table 3). Weak and not statistically significant correlations ($r \leq 0.3$) were calculated only between the following pair of sites SAT-PH2 and SJ1-PH2.

In the summer 2010 the lowest total of precipitation (8.5 mm) in the KH station, out of all Toruń Polar Expeditions since 1975, have been observed (Table 4). In the firm part of the Waldemar Glacier seasonal total of precipitation was 3-4 times greater than in sites located on coastal plains. In the Kaffiøyra Plain and Waldemar Glacier region vertical lapse rate was twofold greater between KH and LW1 than between KH and LW2 (14.7 and 7.7 mm/100m, respectively). In the entire study area, highest summer total of precipitation occurred in the middle part of the Prins Karls Forland island.

Relationships between atmospheric circulation and relative humidity as well as precipitation were investigated using data from the KH station and calendar of daily synoptic types for Spitsbergen constructed by Tadeusz Niedźwiedź (Table 5). The most humid conditions in the summer 2010 were observed during inflow of air masses from south-western direction (6.6% above summer mean), while most dry air (-9.7%) – from the north-eastern direction. Similar relationships have been found for precipitation.

Analysis of relationships occurring between direction of winds and relative humidity data confirms also the above results. Highest values of relative humidity (>90%) were observed during winds inflowing from the southern sector, while the lowest ones – from the north-eastern direction (Fig. 7).

Słowa kluczowe: topoclimate, relative humidity, precipitation, atmospheric circulation, Spitsbergen, Forlandsundet